

砂の平面ひずみ圧縮試験におけるひずみの局所化に粒子破碎が及ぼす影響

山口大学大学院 学生会員 ○西原尚輝

山口大学大学院 正会員 中田幸男

1. はじめに

ひずみの局所化はせん断破壊の前兆である。ひずみの局所化に対する論文の文献検索を行ったところ、ひずみの局所化に影響を与える因子として粒径や密度の研究が多く行われているのに対し、粒子破碎の研究はあまり行われていないことが分かった。しかし、粒子破碎が発生すると粒径が変化するため、粒子破碎はひずみの局所化に影響を与えると考えられる。そこで、本研究では粒子破碎がひずみの局所化に与える影響について考察を行った。

2. 平面ひずみ圧縮試験と画像解析

平面ひずみ圧縮試験の手順は、供試体作製(供試体サイズ高さ16cm 横6cm 奥行8cm)、バックプレッシャー、等方圧密、静的せん断である。供試体は5層に分けて緩く締固めを行い、相対密度65%を目標に作製した。試験条件は有効拘束圧50kPa、100kPa、200kPaとし軸ひずみ0.1%/min一定で載荷し軸ひずみが10%に達したところで試験を終了した。写真1に試験機の写真を示した。写真から分かるように平面ひずみ圧縮試験機には試験中の供試体の変形状態の観察が行える観察窓が付いており、この観察窓から供試体をカメラで撮影し画像解析(PIV)を行った。観察窓は平面になっており解析時にはカメラのレンズの歪みのみを考慮すればよい。試料は、粒子破碎を起こしやすいものとして粒子内に空洞である中空ガラスビーズ(以降、HGB)、粒子破碎を起こしにくいものとしてガラスビーズ(以降、GB)を用いた。粒子破碎の確認として試験前の粒度分布、試験後の粒度分布の変化を観察した。HGBでは有効拘束圧200kPaで試験を行った試料に対し粒度の明確な変化が見られた。GBではいずれの試料でも粒度に変化が見られなかった。

3. 応力ひずみ関係

HGB、GBの応力ひずみ関係を図1、図2に示した。HGBは軸ひずみ1.8%から2.3%でピークを示し、主応力比ピーク時と残留強度時の差が小さい。また体積ひずみはせん断中収縮傾向挙動を示す。GBでは軸ひずみ0.8%から1.1%でピークを、軸ひずみ1.7%から1.9%で残留強度を示す。また主応力比ピーク時と残留強度に明確な差を示し、体積ひずみはせん断中収縮から膨張に移り変わった。

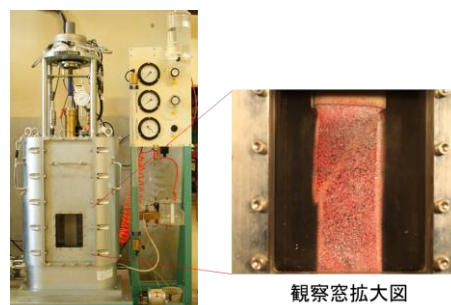


写真1 平面ひずみ圧縮試験機

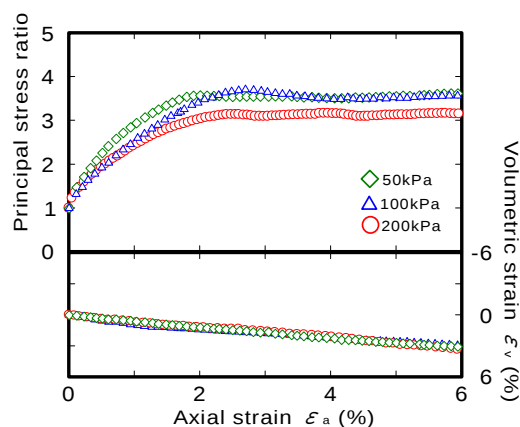


図1 HGBの応力ひずみ関係

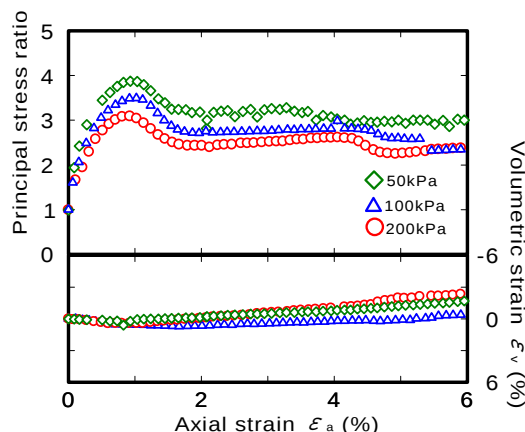


図2 GBの応力ひずみ関係

キーワード 局所化 せん断帯 粒子破碎

連絡先 〒755-8611

山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科

TEL 0836-85-9300

4. ひずみの局所化

画像解析によって得られる最大せん断ひずみ増分 $d\gamma_{max}$ コンター図を用いてひずみの局所化に対する詳細な検討を行った。また、解析によって求められた $d\gamma_{max}$ の値を用いた累積度数分布、ワイブル係数から値の均一性を判断した。累積度数分布、ワイブル係数分布は両端の $d\gamma_{max}$ は除外し作成した。

要素 $d\gamma_{max}$ が供試体の全域に分布し値が均一な状態は全域変形状態と、要素 $d\gamma_{max}$ が一部分に集中し値が二極化した状態は局所変形状態といえる。つまり、ひずみの局所化は全域変形状態から局所変形状態への移行を指すことになる。有効拘束圧 200kPa の中空 GB、GB の $d\gamma_{max}$ コンター図を図 4、5 に示した。軸ひずみが増加するにつれ、ある一部分に高い要素 $d\gamma_{max}$ が集中していく様子が観察できる。この図からは HGB は軸ひずみ 1.7% から、GB は軸ひずみ 1.5% から要素 $d\gamma_{max}$ がある一部分に集中し要素 $d\gamma_{max}$ の値が二極化している。

図 6 に HGB の要素 $d\gamma_{max}$ に対する累積度数分布を示した。この累積度数分布は要素 $d\gamma_{max}$ の分布を詳細に分析できる。この図から、65%の要素は、0.005%以下のせん断変形を示すことが分かる、一方 35%の要素の挙動が全体の挙動を支配しているといえる。この 35%の要素の分布について見ると、軸ひずみ 0.5%～1.5%の分布と軸ひずみ 2.0%～2.5%の分布では、明確な違いがあり局所化の進行を示唆している。

ワイブル係数は数値の均一性を示す係数で、均一であるほど高い値をとる。そのため、全域変形状態では、変形が全域に均一的であるためワイブル係数は大きくなる。また、局所変形状態では、ある一部分に集中し値が二極化するためワイブル係数が小さくなる。要素 $d\gamma_{max}$ の均一性を示すワイブル係数と軸ひずみの関係を図 7 に示す。図 7 から、ワイブル係数は軸ひずみの進行とともに減少し、最終的にはほぼ一定となることがわかる。HGB のワイブル係数の変化は GB のそれと比較して緩やかであることがわかる。さらに、粒子破碎を起こしやすい HGB は主応力比のピーク前にワイブル係数の減少が始まり、かつ一定になっているのに対し、粒子破碎を起こしにくい GB は主応力比のピークあたりからワイブル係数が減少し、残留時に一定値に達している。

5. まとめ

粒子破碎を起こしやすい試料は、局所化の進行が穏やかであり、主応力比のピーク時よりも前に局所変形状態に移り変わることが分かった。一方、粒子破碎を起こしにくい試料では、局所化の進行が急激で、主応力比のピークあたりから残留時にかけて局所変形状態に移り変わることが分かった。

参考文献

- 1) 米本 達哉(2014)：砂の破壊面の進展に及ぼす密度の影響，平成 27 年度土木工学会中国支部研究発表会
- 2) Cheng, Y.P., Nakata, Y. & Bolton, M. D. (2003) :Discrete element simulation of crushable soil, Geotechnique 53, No. 7, 633–641

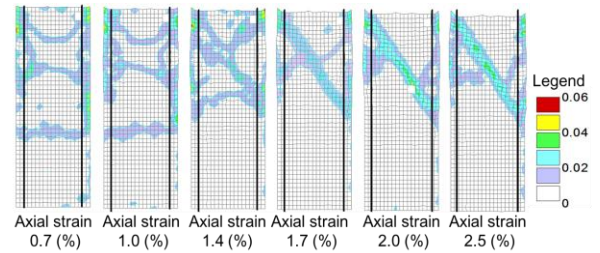


図 4 HGB の局所化の進行

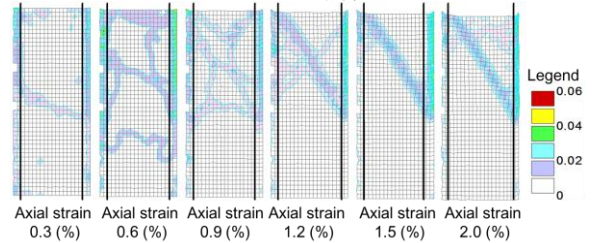


図 5 GB の局所化の進行

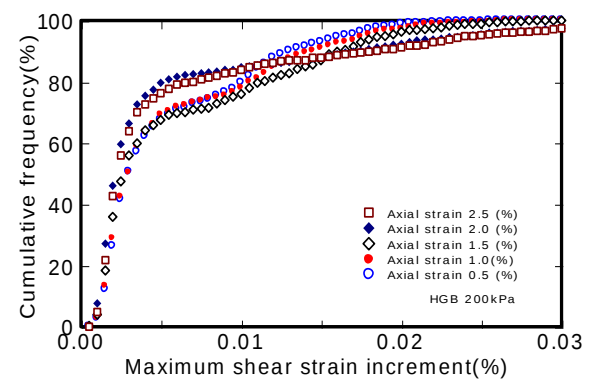


図 6 HGB の要素 $d\gamma_{max}$ に対する累積度数分布

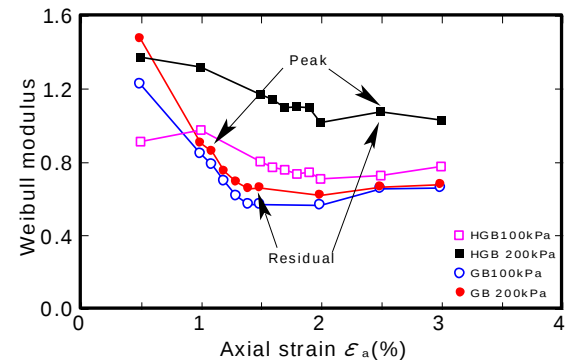


図 7 ワイブル係数による要素 $d\gamma_{max}$ の均一性の評価